

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 20 OCT 2003

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

102 37 777.4

Anmeldetag:

17. August 2002

Anmelder/Inhaber:

DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

Bezeichnung:

Brennkraftmaschine mit Reduktionsmittel-
erzeugungseinheit und Betriebsverfahren
hierfür

IPC:

F 01 N, B 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Stech

DaimlerChrysler AG

Boegner

07.08.2002

Brennkraftmaschine mit Reduktionsmittelerzeugungseinheit und
Betriebsverfahren hierfür

5 Die Erfindung betrifft eine Brennkraftmaschine mit Redukti-
onsmittelerzeugungseinheit mit den Merkmalen des Oberbegriffs
des Anspruchs 1 und ein Betriebsverfahren hierfür mit den
Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 12 bzw. ein
Betriebsverfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des
10 Anspruchs 13.

In der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung
10128414.4 ist eine Brennkraftmaschine mit Reduktionsmittel-
erzeugungseinheit beschrieben. Die Reduktionsmittelerzeu-
15 gungseinheit dient der Erzeugung eines H_2 -haltigen und NH_3 -
haltigen Reduktionsgases, welches stromaufwärts eines NO_x -
Reduktionskatalysators in die Abgasleitung der Brennkraftma-
schine zugebar ist, wobei der Reduktionsmittelerzeugungsein-
heit ein HC-haltiger (HC = Kohlenwasserstoff) Kraftstoff
20 sowie Luft und/oder Abgas zuführbar ist. Die Erzeugung des
 H_2 -Anteils und des NH_3 -Anteils im Reduktionsgas erfolgt in
parallelgeschalteten Einheiten, was den Einsatz von Schalt-
bauteilen und die Verwendung von Zwischenspeichern notwendig
macht.

25

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, eine Brennkraftma-
schine mit einer Reduktionserzeugungseinheit und ein
Betriebsverfahren hierfür anzugeben, mit welchen auf kon-
struktiv und verfahrenstechnisch einfache Weise Reduktions-

mittel für eine wirkungsvolle Abgasreinigung bereitgestellt werden kann.

5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst.

10 Die erfindungsgemäße Brennkraftmaschine zeichnet sich dadurch aus, dass die Reduktionsmittelerzeugungseinheit eine NO_x -Erzeugungsstufe und eine H_2 -Erzeugungsstufe in serieller Anordnung aufweist. Die serielle Anordnung ermöglicht eine konstruktiv einfache Kopplung der Erzeugungsstufen mit einer geringen Zahl von Steuerventilen und einen in großem Maße voneinander unabhängigen und damit einfach zu steuernden

15 Betrieb der Erzeugungsstufen. Das von der NO_x -Erzeugungsstufe erzeugte NO_x kann bedarfsgerecht durch Reduktion mit dem von der H_2 -Erzeugungsstufe erzeugten H_2 zu NH_3 reduziert werden. Damit steht in Verbindung mit einem geeigneten Abgaskatalysator ein wirksames Reduktionsmittel für die Entfernung der im

20 Abgas der Brennkraftmaschine vorhandenen Stickoxide zur Verfügung. Der von der H_2 -Erzeugungsstufe erzeugte H_2 kann ebenfalls zur katalytischen Verminderung des Stickoxidgehalts im Abgas, insbesondere bei niedrigen Temperaturen, eingesetzt werden.

25 Die H_2 -Erzeugungsstufe ist vorzugsweise als POX-Reaktor (POX = partielle Oxidation) ausgeführt. Durch entsprechende Wahl der Betriebsbedingungen des POX-Reaktors kann die Zusammensetzung des Produktgases gezielt eingestellt werden, so

30 dass beispielsweise ein H_2 -reiches Produktgas oder ein an gecrackten, kurzkettigen Kohlenwasserstoffen reiches Produktgas erhalten wird. Da kurzkettige Kohlenwasserstoffe oder Wasserstoff hinsichtlich der NO_x -Reduktion insbesondere bei niedrigen Temperaturen wirksamer sind als langkettige Kohlen-

35 wasserstoffe, kann mit einem solchen Reaktor ein als Brennstoff für die Brennkraftmaschine eingesetztes Mineralöl in ein wirksameres Reduktionsmittel für Stickoxide umgesetzt

werden. Ferner können auch die verschiedenen Temperaturbereiche der Wirksamkeit der von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit erzeugbaren Reduktionsmittel ausgenutzt werden, und die Zusammensetzung des Reduktionsgases an die Temperatur des
5 NO_x-Reduktionskatalysators angepasst werden. Dadurch wird in einem breiten Temperaturbereich eine NO_x-Verminderung ermöglicht.

Die H₂-Ausbeute der H₂-Erzeugung lässt sich durch Einbeziehung einer Wassergasshiftreaktion ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \text{ ----> CO}_2 + \text{H}_2$) oder einer Steamreformingreaktion ($\text{HC} + \text{H}_2\text{O} \text{ ----> CO}_2 + \text{H}_2$) erhöhen. Diese können ebenfalls in der H₂-Erzeugungsstufe ablaufen oder in einer getrennten, vorzugsweise der H₂-Erzeugungsstufe nachgeschalteten Reaktionsstufe ablaufen. Das für
10 das Ablaufen der Wassergasshiftreaktion bzw. die Steamreformingreaktion notwendige Wasser kann dem jeweiligen Eduktgas zugesetzt werden. Wird der Reduktionsmittelerzeugungseinheit Abgas zugeführt, so ist durch dessen Wassergehalt bereits die Voraussetzung für das Ablaufen der Wassergasshiftreaktion
15 bzw. der Steamreformingreaktion gegeben.
20

Wegen der leichten Oxidierbarkeit des von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit erzeugten H₂ kann zusätzlich eine rasche Aufheizung von Katalysatoren im Abgasstrang erzielt werden.
25 Durch Zugabe des erzeugten H₂ eingangs eines Abgaskatalysators kann daher ein schnelles Anspringen dieses Katalysators erreicht werden, was insbesondere bei der Verminderung der Schadstoffemission beim Kaltstart wichtig ist. Desgleichen können Katalysatoren unter thermisch ungünstigen Bedingungen,
30 wie beispielsweise in Unterbodenposition eines Kraftfahrzeugs, wirksam betrieben werden.

Mit der weitgehend autark arbeitenden Reduktionsmittelerzeugungseinheit kann somit weitgehend unabhängig vom Betrieb der
35 Brennkraftmaschine Reduktionsmittel an Bord des zugehörigen Kraftfahrzeugs bereitgestellt und zur Schadstoffverminderung eingesetzt werden. Da außerdem die Reduktionsmittelerzeugung

gungseinheit nur mit den an Bord eines Kraftfahrzeugs sowieso verfügbaren Betriebsstoffen gespeist wird, werden Zusatzbetriebsstoffe und deren Speicherung oder Zwischenspeicherung überflüssig. Außerdem entfällt weitgehend die Notwendigkeit, den Betrieb der Brennkraftmaschine zur Bereitstellung von Reduktionsmittel für die NO_x -Reduktion beispielsweise auf fette Verbrennung umzustellen, was insbesondere bei Dieselmotoren mit Schwierigkeiten verbunden ist. Insgesamt wird daher auf konstruktiv einfache Weise eine vom Betrieb der Brennkraftmaschine weitgehend unabhängige Verringerung des Schadstoffgehalts im Abgas ermöglicht.

In Ausgestaltung der Erfindung ist die NO_x -Erzeugungsstufe der H_2 -Erzeugungsstufe nachgeschaltet. Diese Anordnung kann beim Betrieb der Reduktionsmittelerzeugung Vorteile bieten. Beispielsweise kann sich das in heißem Zustand aus der vorgeschalteten H_2 -Erzeugungsstufe austretende Reduktionsgas beim Durchtritt durch die NO_x -Erzeugungsstufe abkühlen, so dass nachfolgende Bauteile thermisch nicht zu stark belastet werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist die NO_x -Erzeugungsstufe der H_2 -Erzeugungsstufe vorgeschaltet. Diese Anordnung kann beim Betrieb der Reduktionsmittelerzeugung ebenfalls Vorteile bieten. Beispielsweise kann das aus der vorgeschalteten NO_x -Erzeugungsstufe austretende Gas zur Steuerung des in der nachgeschalteten H_2 -Erzeugungsstufe ablaufenden Prozesses eingesetzt werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist der NO_x -Erzeugungsstufe eine NH_3 -Erzeugungsstufe nachgeschaltet. Die NH_3 -Erzeugungsstufe dient der vorzugsweise bedarfsgerechten on-board-Erzeugung von NH_3 , so dass dieses Reduktionsmittel zur NO_x -Verminderung nicht in einem Vorratsbehälter mitgeführt werden muss.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist der Reduktionsmittelerzeugungseinheit eine Fraktioniereinheit zugeordnet, derart, dass von der Fraktioniereinheit niedrigsiedende Bestandteile eines zum Betrieb der Brennkraftmaschine eingesetzten Kraftstoffs abtrennbar sind, welche der H₂-Erzeugungsstufe zuführbar sind. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass eine beispielsweise als POX-Reaktor ausgeführte Reduktionsmittelerzeugungseinheit leichter zu betreiben ist.

Die vom Kraftstoff abgetrennten leichtsiedenden Bestandteile werden vom POX-Reaktor besser und vollständiger gecrackt. Ferner können Rußbildung und Kondensationsproblem im POX-Reaktor weitgehend vermieden werden und die Betriebstemperatur kann abgesenkt werden. Der Wirkungsgrad und die H₂-Ausbeute der partiellen Kohlenwasserstoffoxidation können ebenfalls verbessert werden. Außerdem werden durch die Fraktionierung weitgehend schwefelfreie Kraftstoffkomponenten abgetrennt. Die H₂-Erzeugungsstufe wird daher nur mit niedrigsiedenden Kraftstoffkomponenten versorgt, die frei von Schwefel sind, weshalb eine Schwefelvergiftung minimiert wird.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist die NO_x-Erzeugungsstufe mit der H₂-Erzeugungsstufe im zeitlichen Wechsel in zwei Betriebsarten betreibbar, derart, dass in der ersten Betriebsart von der NO_x-Erzeugungsstufe ein NO_x-haltiges Gas erzeugbar ist und in der zweiten Betriebsart von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit ein H₂-haltiges Gas und NH₃-haltiges Gas erzeugbar ist. Diese Ausgestaltung ermöglicht in vorteilhafter Weise einen bedarfsgerechten Betrieb der Reduktionsmittelerzeugungseinheit. In Zeitabschnitten, in welchen eine Komponente des Reduktionsgases nicht benötigt wird, kann die entsprechende Erzeugungseinheit außer Betrieb gesetzt werden.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist der NO_x-Erzeugungsstufe ein NO_x-Zwischenspeicher nachgeschaltet. Mit dieser Ausführungsform kann die NO_x-Erzeugungsstufe auch mit

geringem Wirkungsgrad betrieben werden. Das dabei nur in geringen Konzentrationen im Produktgas vorhandene NO_x wird im NO_x -Zwischenspeicher angesammelt und steht nach einiger Zeit in größerer Menge zur Umsetzung in NH_3 zur Verfügung.

5 In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist der NO_x -Zwischenspeicher zur Umsetzung von gespeichertem NO_x mit H_2 zu NH_3 ausgelegt. Mit dieser Doppelfunktion von NO_x -Speicherung und NH_3 -Bildung kann die Reduktionsmittelerzeugungseinheit besonders kompakt gestaltet werden. Als NO_x -Zwischenspeicher kann
10 insbesondere ein NO_x -Speicherkatalysator eingesetzt werden. Im Rahmen der Erfindung kann dessen NH_3 -Bildungs-funktion bei der Regeneration durch Zufuhr von Reduktionsgas ausgenutzt werden. Vorzugsweise wird ein beispielsweise durch einen
15 gesteigerten Rhodiumgehalt bezüglich der NH_3 -Bildungsfunktion optimierter NO_x -Speicherkatalysator eingesetzt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist die H_2 -Erzeugungsstufe zur Umsetzung von zugeführtem NO_x zu NH_3 ausgelegt. Wird der H_2 -Erzeugungsstufe gleichzeitig NO_x aus der
20 vorgeschalteten NO_x -Erzeugungsstufe und HC-haltiger Kraftstoff zugeführt, kann in einem einzigen, vorzugsweise katalytischen, Prozessschritt sowohl H_2 als auch NH_3 erzeugt. Bei der unter reduzierenden Bedingungen ablaufenden partiellen
25 Kohlenwasserstoffoxidation ist die Reduktion von NO_x zu NH_3 aus thermodynamischen Gründen bevorzugt, weshalb dieser Reduktionsschritt in vorteilhafter Weise in einem Prozessschritt mit der H_2 -Erzeugung zusammengefasst werden kann. Auf diese Weise wird in einem Prozessschritt ein NH_3 - und H_2 -haltiges
30 Reduktionsgas erzeugt. Dabei wird die Erzeugung des NH_3 - und H_2 -haltigen Reduktionsgases vorzugsweise kontinuierlich durchgeführt.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung ist die NO_x -Erzeugungsstufe zur Erzeugung von NO_x aus Luft/und oder sauer-
35

- stoffhaltigem Abgas ausgelegt. Vorzugsweise wird in der NO_x -Erzeugungsstufe NO_x in einem Plasmaprozess, durch einen elektrischen Lichtbogen oder durch eine Corona-Entladung erzeugt. In Verbindung mit der nachgeschalteten Reduktion des NO_x wird somit NH_3 ausschließlich aus Bestandteilen der Luft und des mitgeführten Kraftstoffs erzeugt, weshalb auf die Bevorratung eines NH_3 -freisetzenden Stoffes, wie beispielsweise Harnstoff, verzichtet werden kann.
- 10 In weiterer Ausgestaltung der Erfindung weist der NO_x -Reduktionskatalysator eine Denox-Katalysatorstufe zur Umsetzung von NO_x mit H_2 und eine SCR-Katalysatorstufe zur Umsetzung von NO_x mit NH_3 auf. In beiden Fällen kann die NO_x -Reduktion bei mageren Abgasbedingungen stattfinden, weshalb die Brenn-
- 15 kraftmaschine vorzugsweise ständig mager betrieben wird, und damit der volle Verbrauchsvorteil des Magerbetriebs ausgeschöpft werden kann. Zusätzlich können die unterschiedlichen Temperaturbereiche der Wirksamkeit der beiden Katalysatorstufen ausgenutzt werden, weshalb in einem breiten Temperaturbereich eine wirksame Stickoxidverminderung erzielt
- 20 werden kann.
- Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich durch folgende Verfahrensschritte aus:
- 25 a) Erzeugung eines NO_x -haltigen Gas von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten NO_x -Erzeugungsstufe aus der NO_x -Erzeugungsstufe zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas,
- b) Zwischenspeicherung von NO_x bei der Durchleitung des im
- 30 Verfahrensschritt a erzeugten NO_x -haltigen Gases durch einen der NO_x -Erzeugungsstufe nachgeschalteten und der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten NO_x -Zwischenspeicher,
- c) Erzeugung eines H_2 -haltigen Gases von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten und dem NO_x -Zwischenspeicher vorgeschalteten H_2 -Erzeugungsstufe aus der H_2 -Erzeugungs-
- 35

stufe zugeführtem Kraftstoff sowie zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas,

d) Umsetzung von im NO_x -Zwischenspeicher gespeicherten NO_x mit dem im Verfahrensschritt c erzeugten Gas zu NH_3 , so dass ein
5 H_2 -haltiges und NH_3 -haltiges Reduktionsgas erzeugt wird, wobei die Verfahrensschritte a und b mit den Verfahrensschritten c und d in zeitlichem Wechsel durchgeführt werden.

Mit der erfindungsgemäßen Verfahrensführung erfolgt die NO_x -
10 Erzeugung und NO_x -Zwischenspeicherung in zeitlichem Wechsel mit der Erzeugung eines H_2 -haltigen, reduzierenden Gases, Freisetzung des zwischengespeicherten NO_x und dessen Reduktion zu NH_3 . Dem NO_x -Reduktionskatalysator wird intermittierend ein H_2 -/ NH_3 -haltiges Reduktionsgas zugeführt. Da jedoch
15 vorzugsweise ein NH_3 -speichernder SCR-Katalysator als NO_x -Reduktionskatalysator eingesetzt wird, kann dieser dennoch im Abgas enthaltenes NO_x kontinuierlich reduzieren, da in den Betriebsphasen, in denen dem Katalysator kein NH_3 zugeführt wird, in der vorigen Betriebsphase zugeführtes und eingespei-
20 chertes NH_3 zur NO_x -Reduktion verwendet wird. Durch die NO_x -Zwischenspeicherung in den Betriebsphasen der NO_x -Erzeugung erfolgt eine Anreicherung des erzeugten NO_x , welches bei Zufuhr von Reduktionsgas mit reduzierender Zusammensetzung in erhöhter Konzentration vom NO_x -Zwischenspeicher wieder abge-
25 geben und zu NH_3 umgesetzt wird. Folglich kann das Reduktionsmittel NH_3 in vergleichsweise großer Konzentration dem NO_x -Reduktionskatalysator zugeführt werden.

In Ausgestaltung des Verfahrens wird die NO_x -Umsetzung zu NH_3
30 in einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten, dem NO_x -Zwischenspeicher nachgeschalteten katalytischen NH_3 -Erzeugungsstufe durchgeführt. Vorzugsweise umfasst die NH_3 -Erzeugungsstufe einen NH_3 -Bildungskatalysator der die reduktive Umsetzung von NO_x zu NH_3 katalysiert. Ein Katalysator

mit einem bezüglich der NH_3 -Bildung sehr hohen Wirkungsgrad ist beispielsweise in der nichtvorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 10214686.1 beschrieben. Wird einem solchen Katalysator NO_x und H_2 -haltiges Reduktionsgas zugeführt, so erfolgt zu einem hohen Prozentsatz eine Umsetzung von NO_x zu NH_3 .

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird die Zwischenspeicherung von NO_x und die NO_x -Umsetzung zu NH_3 mit einem katalytischen NO_x -Zwischenspeicher durchgeführt. Der katalytische NO_x -Zwischenspeicher verfügt hierzu vorzugsweise über eine NH_3 -Bildungsfunktion, derart, dass gespeichertes NO_x unter reduzierenden oder stöchiometrischen Bedingungen zumindest teilweise zu NH_3 reduziert wird. Ein derartiges Verhalten zeigen beispielsweise NO_x -Speicherkatalysatoren, die hier vorzugsweise eingesetzt werden. Durch die in einem katalytischen Bauteil integrierten Funktionen der NO_x -Zwischenspeicherung und der NH_3 -Bildung kann eine kompakte Bauweise der Reduktionsmittelerzeugungseinheit erreicht werden.

20

Ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren zeichnet sich durch folgende Verfahrensschritte aus:

- a) Erzeugung eines NO_x -haltigen Gas von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten NO_x -Erzeugungsstufe aus der NO_x -Erzeugungsstufe zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas,
- b) Erzeugung eines H_2 -haltigen und NH_3 -haltigen Reduktionsgases von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten und der NO_x -Erzeugungsstufe nachgeschalteten H_2 -Erzeugungsstufe aus der H_2 -Erzeugungsstufe zugeführtem, im Verfahrensschritt a erzeugten NO_x -haltigen Gases, zugeführtem Kraftstoff sowie zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas.

Mit dieser erfindungsgemäßen Verfahrensführung erfolgt eine kontinuierliche Erzeugung eines H_2 -haltigen und NH_3 -haltigen Reduktionsgases und dessen Zufuhr zum NO_x -Reduktionskatalysator. Vorzugsweise weist die H_2 -Erzeugungsstufe einen Katalysator mit NH_3 -Bildungsfunktion auf, und es wird von der H_2 -Erzeugungsstufe ein H_2 -haltiges und NH_3 -haltiges Reduktionsgas erzeugt. Die H_2 -Abspaltung aus dem HC-haltigen Kraftstoff in der H_2 -Erzeugungsstufe und die Reduktion des beigegebenen NO_x zu NH_3 erfolgt im gleichen Prozess. Somit wird in einem Prozessschritt ein H_2 - und NH_3 -haltiges Reduktionsgas erzeugt. Dies vereinfacht in vorteilhafter Weise die Ausführung der Reduktionsmittelerzeugungseinheit.

In Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Verfahren wird in einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zugeordneten Fraktioniereinheit ein an niedrigsiedenden Bestandteilen angereicherter Kraftstoff gewonnen, der der Reduktionsmittelerzeugungseinheit zur Reduktionsgaserzeugung zugeführt wird. Die H_2 -Erzeugungsstufe wird dadurch mit niedermolekularen Kohlenwasserstoffen versorgt, wodurch dessen Eduktgasstrom besser homogenisiert wird, Verkokungen vermieden werden und die H_2 -Ausbeute gesteigert wird.

In Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Verfahren ist der NO_x -Reduktionskatalysator in eine Denox-Katalysatorstufe zur Umsetzung von NO_x mit H_2 und in eine SCR-Katalysatorstufe zur Umsetzung von NO_x mit NH_3 aufgeteilt, und das Reduktionsgas wird in Abhängigkeit von seiner Zusammensetzung eingangsseitig der SCR-Katalysatorstufe (3a) oder eingangsseitig der Denox-Katalysatorstufe (3b) dem Abgas zugeführt. Da die Katalysatorstufen unterschiedliche Temperaturbereiche ihrer Wirksamkeit aufweisen, und die von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit erzeugten Reduktionsmittel HC, H_2 , NH_3 bei unterschiedlichen Temperaturen ihre optimale Wirkung besit-

zen, kann damit in einem breiten Temperaturbereich eine hohe NO_x -Verminderung im Abgas erzielt werden. Die Denox-Katalysatorstufe kann außerdem zur Reduktion von NO_x mit HC ausgelegt sein was den Anwendungsbereich des Reduktionsgases erweitert.

5

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens wird die Menge und/oder die Zusammensetzung des von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit erzeugten Reduktionsgases in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Brennkraftmaschine eingestellt. Vorzugsweise wird von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit bei

10 mengenmäßig großer NO_x -Emission der Brennkraftmaschine mehr Reduktionsgas bereitgestellt, als bei niedriger. Der Prozess der Reduktionsgaserzeugung wird vorzugsweise so gesteuert, dass die Wirkung des jeweiligen NO_x -Reduktionskatalysators

15 optimal ausgenutzt wird. Bei niedriger Last der Brennkraftmaschine bzw. niedriger Abgastemperatur wird vorzugsweise ein H_2 -reiches Reduktionsgas erzeugt. Bei höherer Last der Brennkraftmaschine bzw. höherer Abgastemperatur wird die Reduktionsmittelerzeugungseinheit vorzugsweise so betrieben, dass

20 das Reduktionsgas mehr NH_3 enthält. Dadurch kann wiederum ein im Abgasstrang der Brennkraftmaschine angeordneter SCR-Katalysator mit höherem NO_x -Umsatz betrieben werden.

25

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Zeichnungen und zugehörigen Beispielen näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockbild einer Brennkraftmaschine mit Reduktionsmittelerzeugungseinheit,

30

Fig. 2 ein schematisches Blockbild eines Aufbaus einer Reduktionsmittelerzeugungseinheit,

Fig. 3 ein schematisches Blockbild des Aufbaus einer weiteren Ausführungsform der Reduktionsmittelerzeugungseinheit,

Fig. 4 ein schematisches Blockbild des Aufbaus einer weiteren Ausführungsform der Reduktionsmittelerzeugungseinheit,

Fig. 5 ein schematisches Blockbild des Aufbaus einer weiteren Ausführungsform der Reduktionsmittelerzeugungseinheit,

Fig. 6 ein schematisches Blockbild des Aufbaus einer Ausführungsform der Reduktionsmittelerzeugungseinheit mit zugeordneter Fraktioniereinheit.

10

In Fig. 1 ist eine hier beispielhaft als vierzylindriger Dieselmotor ausgeführte Brennkraftmaschine 1 dargestellt. Im Folgenden wird vereinfachend von einem Motor gesprochen. Das im Verbrennungsprozess erzeugte Abgas wird über die Abgasleitung 2 in die Umgebung geleitet. In der Abgasleitung 2 ist ein hier beispielhaft die Katalysatorstufen 3a und 3b umfassender NO_x -Reduktionskatalysator 3 angeordnet.

20

Die Katalysatorstufe 3a ist als SCR-Katalysator ausgeführt, mit welchem mit NH_3 als Reduktionsmittel eine NO_x -Verminderung unter mageren Abgasbedingungen erfolgt. Es kann ein SCR-Katalysator auf $\text{V}_2\text{O}_5/\text{WO}_3/\text{TiO}_2$ -Basis als Vollextrudat oder ein anderer für die NO_x -Reduktion mit NH_3 geeigneter Katalysator eingesetzt werden. Der Temperaturbereich der Wirksamkeit der Katalysatorstufe 3a liegt typischerweise zwischen 200°C und 400°C .

30

Die Katalysatorstufe 3b ist als Denox-Katalysator ausgeführt, mit welchem mit H_2 und/oder HC als Reduktionsmittel eine NO_x -Verminderung unter mageren Abgasbedingungen erfolgt. Eingesetzt wird vorzugsweise ein edelmetallhaltiger Katalysator, es kann jedoch auch ein Cu-ausgetauschter Zeolith oder ein anderer für die NO_x -Reduktion mit H_2 oder HC geeigneter Katalysator eingesetzt werden. Der Temperaturbereich der Wirksam-

keit der Katalysatorstufe 3b liegt mit H_2 als Reduktionsmittel typischerweise zwischen $80^\circ C$ und $200^\circ C$, mit HC als Reduktionsmittel zwischen $180^\circ C$ und $400^\circ C$.

- 5 Zur Erzeugung der Reduktionsmittel H_2 und/oder NH_3 dient die dem Motor zugeordnete Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20. Zu diesem Zweck können ihr Kraftstoff bzw. Luft oder Abgas über die Kraftstoffzufuhrleitung 9 bzw. über die Gaszufuhrleitung 10 bedarfsgerecht zugeführt werden. Die Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 verfügt über eine nicht dargestellte geregelte Beheizung, welche hauptsächlich zum Anfahren in Betrieb ist. Das von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 erzeugte Reduktionsgas kann über die Zugabeleitung 8 und die Zugabestellen 4, 5 dem Abgas eingangsseitig der
- 10 Katalysatorstufen 3a, 3b bedarfsgerecht zugegeben werden.
- 15

Der Motorbetrieb und der Betrieb der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 wird von einem Motorsteuergerät 6 gesteuert, welches zu diesem Zweck über Steuerleitungen 7 mit dem Motor

20 1 bzw. mit der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 verbunden ist.

- Selbstverständlich können dem Motor 1 oder der Abgasanlage weitere, Bauteile zugeordnet sein, welche aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt sind. Insbesondere können dies weitere katalytische Reinigungseinheiten, ein Partikelfilter und Sensoren in der Abgasleitung 2 sowie übliche weitere Motorbestandteile wie Einspritzanlage, Abgasturbolader, Bauteile zur Abgasrückführung usw. sein. Ebenfalls nicht dargestellt sind schaltbare bzw. einstellbare Absperrorgane in
- 25
- 30 der Zugabeleitung 8 und den Zufuhrleitungen 9, 10.

Die Reduktionsmitteleinheit 20 wird nun so betrieben, dass in Abhängigkeit von der NO_x -Emission des Motors 1 Reduktionsgas

erzeugt und eingangsseitig der Katalysatorstufen 3a und/oder 3b dem Abgas zugegeben wird. Hierzu verfügt das Motorsteuergerät 6 beispielsweise über Kennfelder, in denen die NO_x -Emission in Abhängigkeit vom Motorbetriebspunkt abgelegt ist.

5 Der Prozess der Reduktionsgaserzeugung wird vom Motorsteuergerät 6 gesteuert und überwacht, wobei das Motorsteuergerät 6 über alle notwendigen Informationen bezüglich der Reduktionsgaszusammensetzung und den Betriebszustand der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 verfügt.

10

Das Motorsteuergerät 6 steuert die Zugabemengen von Luft bzw. Abgas sowie Kraftstoff und den Betrieb der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 vorzugsweise so, dass bei niedriger

15 Abgastemperatur Reduktionsgas hauptsächlich über die Zugabestelle 4 eingangs des Denox-Katalysators 3b dem Abgas zugeführt wird. Die Reduktionsgaserzeugung wird dabei so gesteuert, dass das Reduktionsgas überwiegend H_2 als Reduktionsmittel enthält. Somit wird auch bei niedriger Abgastemperatur bzw. bei niedriger Temperatur der Katalysatorstufe 3b eine

20 wirksame NO_x -Verminderung des Motorabgases erreicht. Die Zugabemenge des Reduktionsgases wird dabei vom Motorsteuergerät 6 entsprechend des NO_x -Gehalts des Abgases der Abgastemperatur bzw. der Temperatur der Katalysatorstufe 3b sowie des H_2 -Gehalts des Reduktionsgases eingestellt. Vorzugsweise
25 wird ein molares Verhältnis von etwa 3:1 von H_2 : NO_x eingangsseitig des Denox-Katalysators 3b eingestellt.

Gerät bei steigender Abgastemperatur die Katalysatorstufe 3b aus dem Temperaturbereich ihrer Wirksamkeit, so wird die Zugabemenge an vorwiegend H_2 -haltigem Reduktionsgas an der
30 Zugabestelle 4 vermindert bzw. eingestellt. Gleichzeitig wird der Betrieb der Reduktionsmittelerzeugungseinheit so umgestellt, dass sich ein erhöhter NH_3 -Anteil im Reduktionsgas ergibt und das Reduktionsgas an der Zugabestelle 5 eingangs der Katalysatorstufe 3a dem Abgas zugegeben. Da mit steigen-

der Abgastemperatur der SCR-Katalysator der Katalysatorstufe 3a in zunehmendem Maße wirksam wird, erfolgt nun hauptsächlich an diesem Katalysator die NO_x -Verminderung.

5 Bei noch weiter steigender Abgastemperatur kann auch der SCR-Katalysator der Katalysatorstufe 3a aus dem Temperaturbereich seiner Wirksamkeit geraten. In diesem Fall wird die Reduktionsgaserzeugung so umgestellt, dass von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 hauptsächlich gecrackter Kraftstoff
10 mit kurzkettingen Kohlenwasserstoffen erzeugt wird. Dieses Reduktionsgas kann dann dem weiter stromab liegenden und damit weniger heißen Denox-Katalysator der Katalysatorstufe 3b zugeführt werden. An diesem Katalysator findet bei Temperaturen um etwa 300°C eine NO_x -Reduktion mit diesen Kohlenwasserstoffen statt.
15

Es versteht sich, dass in der Abgasleitung 2 weitere hier, nicht dargestellte Katalysatoren angeordnet sein können, denen ebenfalls über eine entsprechende Zugabestelle bei
20 Bedarf Reduktionsgas zugeführt werden kann. Insbesondere kann zur Emissionsminderung bei einem Kaltstart des Motors 1 H_2 -haltiges Reduktionsgas eingangs eines motornah angeordneten Startkatalysators ins Abgas zudosiert werden. Damit kann eine rasche Aufheizung des Startkatalysators erreicht werden.
25 Folglich können auf diese Weise Schadstoffe bereits in einer frühen Phase des Motorwarmlaufs aus dem Abgas entfernt werden.

Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 in einer bevorzugten Ausführungsform. Die
30 Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 umfasst hier eine H_2 -Erzeugungsstufe 21, eine NO_x -Erzeugungsstufe 22, einen NO_x -Zwischenspeicher 23 und eine NH_3 -Erzeugungsstufe 24 in serieller Anordnung. Der H_2 -Erzeugungsstufe 21 ist Kraftstoff über die

Kraftstoffzufuhrleitung 9 und Luft und/oder Abgas über die Gaszufuhrleitung 10 mengenreguliert zuführbar. Der NO_x -Erzeugungsstufe 22 ist ebenfalls Luft und/oder Abgas über einen Abzweig der Gaszufuhrleitung 10 mengenreguliert zuführbar.

- 5 Die zur Mengenregulierung eingesetzten Mittel sind hierbei nicht dargestellt.

Die dargestellte Ausführungsform der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 wird vorzugsweise im Wechsel so betrieben, dass abwechselnd NH_3 und/oder H_2 erzeugt wird, oder NO_x erzeugt wird. Zur Erzeugung von H_2 wird die als katalytischer POX-Reaktor ausgeführte H_2 -Erzeugungsstufe 21 falls nötig zunächst mittels einer nicht dargestellten elektrischen Heizung auf Betriebstemperatur aufgeheizt. Die Betriebstemperatur des im POX-Reaktor angeordneten Katalysators beträgt dabei etwa 600°C bis 1000°C . Danach werden dem POX-Reaktor Kraftstoff und Luft bzw. Abgas in einem von dem Motorsteuergerät festgelegten Mengenstrom zugeführt. Dabei wird ein Luft-/Kraftstoffverhältnis von vorzugsweise etwa $\lambda = 0,3$ eingestellt. Bei diesem Lambdawert läuft im POX-Reaktor die partielle Kraftstoffoxidation praktisch rußfrei ab. Reaktionsprodukt ist ein Reduktionsgas mit einer Zusammensetzung, die stark von der Prozessführung, d.h. hauptsächlich von der Temperatur des POX-Katalysators und vom eingestellten Luft-/Kraftstoffverhältnis, abhängt. Typische Gehalte der Reduktionsmittel H_2 bzw. CO sind etwa 18 %. Das Reduktionsgas kann zusätzlich noch einen gewissen Gehalt an niedermolekularen Kohlenwasserstoffen aufweisen.

- 30 Dieses Reduktionsgas wird nun durch die NO_x -Erzeugungsstufe 22 geleitet, welche in dieser Phase der Reduktionsgaserzeugung außer Betrieb ist. Nach Durchleitung durch die NO_x -Erzeugungsstufe 22 durchströmt das Reduktionsgas den NO_x -Zwischenspeicher 23, welcher einen NO_x -Adsorber enthält. Der

NO_x-Adsorber kann beispielsweise ein keramischer Wabenkörper sein, der mit einem Material beschichtet ist, welches bei oxidierenden Bedingungen NO_x durch Adsorption bzw. Absorption aufnimmt und bei reduzierenden Bedingungen wieder abgibt.

5 Dafür kommt beispielsweise ein NO_x-Adsorbermaterial auf Silber-Basis in Frage. Falls der NO_x-Zwischenspeicher 23 vor Durchströmen mit dem von der H₂-Erzeugungsstufe 21 erzeugten Reduktionsgas mit NO_x beladen worden ist, wird dieses folglich freigesetzt. Das mit NO_x angereicherte Reduktionsgas
10 wird weiter der NH₃-Erzeugungsstufe 24 zugeführt. Diese enthält vorzugsweise einen Katalysator mit edelmetallhaltiger Beschichtung. Von diesem Katalysator wird die Reduktion des NO_x zu NH₃ katalysiert, so dass die Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 schließlich ein NH₃- und H₂-haltiges Reduktionsgas über die Reduktionsgasleitung 8 verlässt und an einer
15 der oder beiden Zugabestellen 4, 5 dem Abgas des Motors 1 zugegeben wird (vergl. Fig. 1).

Kommt die NH₃-Bildung, beispielsweise durch Erschöpfung der
20 im NO_x-Zwischenspeicher 23 gespeicherten NO_x-Menge, zum Erliegen, so kann, falls dies erforderlich ist, der Betrieb der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 zur NO_x-Erzeugung umgestellt werden. Zu diesem Zweck wird die Zufuhr von Luft bzw. Abgas sowie die Zufuhr von Kraftstoff zur H₂-Erzeugungs-
25 stufe 21 abgestellt. Daraufhin wird der NO_x-Erzeugungsstufe 22 Luft und/oder sauerstoffhaltiges Abgas zugeführt. In der NO_x-Erzeugungsstufe 22 wird daraufhin beispielsweise ein Plasmaprozess gestartet oder ein elektrischer Lichtbogen oder eine Corona-Entladung gezündet. Durch einen derartigen Pro-
30 zess wird in der stickstoff- und sauerstoffhaltiger Atmosphäre der NO_x-Erzeugungseinheit NO_x erzeugt. Vorzugsweise wird ein NTP-Prozess (NTP = nichtthermisches Plasma) gestartet und für die gewünschte Zeit der NO_x-Erzeugung aufrechterhalten. Das mit diesem Prozess erzeugte NO_x besitzt einen ho-

hen NO_2 -Anteil von typischerweise mehr als 50 %, was die nachfolgende Einspeicherung nach Zufuhr des Produktgases zum NO_x -Zwischenspeicher 23 verbessert. Wie oben beschrieben, ist dieser in der Lage, das zugeführte NO_x durch Adsorption oder Absorption aufzunehmen. Das von NO_x befreite Gas wird weiter durch die NH_3 -Erzeugungsstufe geleitet, von wo es im Wesentlichen unverändert über die Reduktionsgasleitung 8 an einer der Zugabestellen 4, 5 dem Abgas des Motors 1 zugegeben wird (vergl. Fig. 1). Ist der NO_x -Zwischenspeicher 23 mit NO_x gesättigt oder es ist aus anderen Gründen die Zufuhr von reduzierendem Gas zu einer Katalysatorstufe erforderlich, wird die NO_x -Erzeugung beendet und die Erzeugung von reduzierend wirkendem Reduktionsgas wie oben beschrieben wieder vorgenommen.

Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform. Die Bezeichnung und die Funktion der wirkungsgleichen Bauteile entspricht dabei der in Fig. 2. Im Vergleich zu der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform unterscheidet sich die in Fig. 2 dargestellte Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 durch die Vertauschung von H_2 -Erzeugungsstufe 21 und NO_x -Erzeugungsstufe 22. Auch die in Fig. 3 dargestellte Ausführungsform der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 wird vorzugsweise im Wechsel so betrieben, dass abwechselnd NH_3 und/oder H_2 erzeugt wird, oder NO_x erzeugt wird. In den Betriebsphasen mit NO_x -Erzeugung ist nun jedoch die H_2 -Erzeugungsstufe 21 außer Betrieb und das NO_x -haltige Produktgas der NO_x -Erzeugungsstufe 22 durchströmt die H_2 -Erzeugungsstufe 21. Dabei kann in der erhitzten H_2 -Erzeugungsstufe 21 eine Regeneration von eventuell durch den Crackprozess verursachten Verkokungen erfolgen, was die Funktionsfähigkeit des POX-Katalysators verbessert. Analog zur Funktion der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform wird im NO_x -Zwischenspeicher 23

dem Gas NO_x durch Speicherung entzogen. Nach Umstellen des Betriebs der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 durch Beendigung der NO_x -Erzeugung und Inbetriebnahme der H_2 -Erzeugungsstufe 21 durchströmt reduzierendes, H_2 -haltiges Reduktionsgas den NO_x -Zwischenspeicher 23 wobei, wie oben beschrieben, die Freisetzung des gespeicherten NO_x erfolgt. In der nachgeschalteten NH_3 -Erzeugungsstufe 24 findet daraufhin eine Umsetzung des gespeicherten NO_x zu NH_3 statt und das Reduktionsgas wird mit NH_3 angereichert. Das erzeugte Reduktionsgas wird, wie weiter oben beschrieben, bedarfsgerecht eingangs einer Katalysatorstufen in die Abgasleitung eingespeist.

Fig. 4 zeigt schematisch den Aufbau der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform. Analog zu den Ausführungsformen der Fig. 2 und Fig. 3 wird auch diese Variante im Wechsel betrieben. Die Unterschiede im Aufbau und in der Wirkungsweise im Vergleich zu den Ausführungsformen der Fig. 2 und 3 werden nachfolgend erläutert. Der NO_x -Erzeugungsstufe 22 ist hier eine NO_x -Speicher-katalysatorstufe 26 nachgeschaltet, welche gleichzeitig die Funktion der NO_x -Zwischenspeicherung und der NH_3 -Bildung erfüllt. Bei der Zuführung von reduzierendem Reduktionsgas aus der H_2 -Erzeugungsstufe 21 zur NO_x -Speicher-katalysatorstufe 26 wird dort gespeichertes NO_x freigesetzt und gleichzeitig zu NH_3 reduziert. Dieser, bei üblichen NO_x -Speicher-katalysatoren auftretende Effekt kann somit in vorteilhafter Weise ausgenutzt werden. Vorzugsweise wird in der Stufe 26 ein NO_x -Speichermaterial eingesetzt, welches in Bezug auf die NH_3 -Bildung beispielsweise durch einen erhöhten Rhodiumgehalt optimiert ist. Eine weitere Vereinfachung wird dadurch erreicht, dass der NO_x -Erzeugungsstufe 22 das zur NO_x -Erzeugung notwendige Gas über die H_2 -Erzeugungsstufe 21 zugeführt wird, weshalb auf einen Abzweig in der Gaszufuhrleitung 10 verzichtet werden kann. Im Vergleich zu den Ausführungsformen

der Fig. 2 und Fig. 3 werden somit Bauteile eingespart, wodurch die Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 einfacher ausgeführt werden kann.

5 Fig. 5 zeigt schematisch den Aufbau der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform. Wie nachfolgend erläutert, kann diese Ausführungsform kontinuierlich betrieben werden, d.h. die NO_x -Erzeugung und die NH_3 -Erzeugung können gleichzeitig erfolgen. Zu diesem
10 Zweck ist eine Reaktorstufe 25 vorgesehen, in welcher gleichzeitig eine H_2 -Erzeugung, vorzugsweise durch einen katalytischen partiellen Oxidationsprozess, und eine Reduktion von aus der NO_x -Erzeugungsstufe 22 zugeführtem NO_x abläuft. Die NO_x -Erzeugung wird dabei wie in den oben beschriebenen Aus-
15 führungsformen vorgenommen. Das notwendige Eduktgas wird der NO_x -Erzeugungsstufe 22 über die Gaszufuhrleitung 10 bedarfsgerecht zugeführt. Die Gaszufuhrleitung kann zusätzlich einen Abzweig zur Reaktorstufe 25 aufweisen. Der Reaktorstufe 25 wird kohlenwasserstoffhaltiger Kraftstoff über die Zufuhrlei-
20 tung 9 zugeführt. Vorzugsweise wird beim Betrieb der Reaktorstufe 25 dort ein Luft-/Kraftstoffverhältnis von etwa $\lambda = 0,3$ eingestellt. Somit liegen einerseits für die H_2 -Erzeugung durch partielle Oxidation und andererseits für die Reduktion von NO_x zu NH_3 thermodynamisch die bevorzugte Verhältnisse
25 vor, so dass in einem Prozess sowohl H_2 als auch NH_3 erzeugt werden können. Das Mengenverhältnis dieser beiden Komponenten kann dabei bedarfsgerecht durch entsprechende Einstellung von der Reaktorstufe 25 zugeführtem Kraftstoff bzw. NO_x eingestellt werden.

30

Fig. 6 zeigt schematisch den Aufbau der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform. Die Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 enthält analog zu der in Fig. 4 dargestellten Ausführungsform eine der NO_x -
35 Erzeugungsstufe 22 nachgeschaltete H_2 -Erzeugungsstufe 21. Die weiter nachgeschaltete NO_x -Speicherkatalysatorstufe 26 dient

der NO_x -Zwischenspeicherung und der NH_3 -Erzeugung. Die Anlage wird vorzugsweise im Wechsel von NO_x -Erzeugungsphasen und H_2 - bzw. NH_3 -Erzeugungsphasen betrieben. Zur NO_x -Erzeugung wird die NO_x -Erzeugungsstufe 22 mit Luft und/oder Abgas über die Gaszufuhrleitung 10 versorgt. Über einen Abzweig kann der H_2 -Erzeugungsstufe 21 ebenfalls Luft und/oder Abgas zugeführt werden. Der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 ist ferner eine Fraktioniereinheit 27 zugeordnet, in welcher aus dem für den Motorbetrieb vorgesehenen Kraftstoff niedrigsiedende Bestandteile in einem Fraktionierprozess abgetrennt werden. Zu diesem Zweck wird die Fraktioniereinheit 27 über die Kraftstoffzufuhrleitung 9 mit Kraftstoff aus dem hier nicht dargestellten Vorratsgefäß des Motors versorgt. Über die Rückföhrleitung 9b wird der an niedrigsiedenden Bestandteilen abgereicherte Kraftstoff wieder zurückgeföhrt. Die abgetrennten niedrigsiedenden Kraftstoffbestandteile werden zur H_2 -Erzeugung der H_2 -Erzeugungsstufe 21 über die Kraftstoffzufuhrleitung 9a zugeführt. Durch die Tatsache, dass die H_2 -Erzeugungsstufe 21 mit niedrigsiedenden Kohlenwasserstoffen betrieben wird, kann die H_2 -Erzeugung mit größerer Ausbeute erfolgen und die Gefahr einer Verkokung des POX-Katalysators vermindert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die niedrig-siedenden Kraftstoffbestandteile im Bedarfsfall nur gering aufzubereiten und dem mageren Abgas eingangseitig eines Denox-Katalysators zuzugeben. Dadurch kann im Temperaturbereich von etwa 200°C bis 350°C eine wirksame NO_x -Verminderung erzielt werden. Zur Erhöhung der H_2 -Ausbeute bei der Reduktionsgaserzeugung kann der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 generell zusätzlich Wasser zugeführt werden. Das Wasser kann hierbei einem Vorratsbehälter des zugehörigen Fahrzeugs entnommen werden oder durch Auskondensieren aus dem Motorabgas gewonnen werden. Das Wasser kann beispielsweise für einen Steam-Reformingprozess in der H_2 -Erzeugungsstufe 21 genutzt werden. Dies hat neben der Erhöhung des H_2 -Gehalts im erzeugten Reduktionsgas zusätzlich den Vorteil, dass dieser endotherme Prozess die Wärme- und Energiebilanz der H_2 -Erzeugung verbessert. Außerdem wird ein größerer Spielraum beim

Temperaturmanagement der H₂-Erzeugungsstufe 21 und der gesamten Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 gewonnen. Das Wasser kann jedoch auch einer der H₂-Erzeugungsstufe 21 nachgeschalteten Wassergasshiftstufe zugeführt werden. Das dadurch an H₂ angereicherte Reduktionsgas besitzt eine höhere Selektivität bei der NH₃-Erzeugung und bei der NO_x-Reduzierung an einem Denox-Katalysator. Zugleich wird der CO-Gehalt im Reduktionsgas vermindert, was einer Vergiftung des Denox-Katalysators durch CO-Belegung aktiver katalytischer Zentren vorbeugt.

10

Es versteht sich, dass der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 ferner Wärmetauscher zugeordnet sein können, um die Wärme- und Energiebilanz des Gesamtprozesses und die Prozessführung zu verbessern. So kann beispielsweise zur Vorwärmung der zugeführten Luft bzw. des zugeführten Abgases ein Wärmetauscher in der Gaszufuhrleitung 10 vorgesehen sein. Es können jedoch auch Wärmetauscher in der Reduktionsmittelerzeugungseinheit 20 vorgesehen sein, beispielsweise um den Wärmeinhalt des heißen Produktgasstroms der H₂-Erzeugungsstufe oder der NH₃-Erzeugungsstufe zur Vorwärmung des Eduktgases einer vorgelagerten Stufe zu nutzen.

20

25

DaimlerChrysler AG

Boegner
07.08.2002Patentansprüche

- 5 1. Brennkraftmaschine, insbesondere Dieselmotor, mit
- einer Abgasleitung (2), in welcher ein NO_x-Reduktions-
 - katalysator (3) angeordnet ist und mit
 - einer Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zur
- 10 Erzeugung eines H₂-haltigen und NH₃-haltigen Reduktionsgases, welches stromaufwärts des NO_x-Reduktionskatalysators (3) in die Abgasleitung (2) zugebbar ist, wobei der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) ein HC-haltiger Kraftstoff sowie Luft und/oder Abgas zuführbar sind,
- 15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) eine NO_x-Erzeugungsstufe (22) und eine H₂-Erzeugungsstufe (21; 25) in serieller Anordnung aufweist.
- 20 2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die NO_x-Erzeugungsstufe (22) der H₂-Erzeugungsstufe (21; 25) nachgeschaltet ist.
- 25 3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die NO_x-Erzeugungsstufe (22) der H₂-Erzeugungsstufe (21; 25) vorgeschaltet ist.

4. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass der NO_x -Erzeugungsstufe (22) eine NH_3 -Erzeugungs-
stufe (24; 25; 26) nachgeschaltet ist.

5

5. Brennkraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprü-
che,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) eine
Fraktioniereinheit (27) zugeordnet ist, derart, dass von
der Fraktioniereinheit (27) niedrigsiedende Bestandteile
eines zum Betrieb der Brennkraftmaschine (1) eingesetzten
Kraftstoffs abtrennbar sind, welche der H_2 -Erzeugungs-
stufe (21; 25) zuführbar sind.

10

15

6. Brennkraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
die Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) im zeitlichen
Wechsel in zwei Betriebsarten betreibbar ist, derart, dass
in der ersten Betriebsart von der NO_x -Erzeugungsstufe (22)
ein NO_x -haltiges Gas erzeugbar ist und in der zweiten
Betriebsart von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20)
ein H_2 -haltiges und NH_3 -haltiges Reduktionsgas erzeugbar
ist.

20

25

7. Brennkraftmaschine nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass der NO_x -Erzeugungsstufe (22) ein NO_x -Zwischenspeicher
(23; 26) nachgeschaltet ist.

30

8. Brennkraftmaschine nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass der NO_x -Zwischenspeicher (26) zur Umsetzung von gespei-
chertem NO_x mit H_2 zu NH_3 ausgelegt ist.

35

9. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 3 bis 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die H_2 -Erzeugungsstufe (21; 25) zur Umsetzung von zugeführtem NO_x zu NH_3 ausgelegt ist. .
- 5
10. Brennkraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die NO_x -Erzeugungsstufe (22) zur Erzeugung von NO_x aus Luft/und oder sauerstoffhaltigem Abgas ausgelegt ist.
- 10
11. Brennkraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der NO_x -Reduktionskatalysator (3) eine Denox-Katalysatorstufe (3b) zur Umsetzung von NO_x mit H_2 und eine SCR-Katalysatorstufe (3a) zur Umsetzung von NO_x mit NH_3 aufweist.
- 15
12. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Dieselmotors, mit
- einer Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) und mit
 - 20 - einer Abgasleitung (2), in welcher ein NO_x -Reduktionskatalysator (3) angeordnet ist,
- wobei ein von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) erzeugtes Reduktionsgas stromaufwärts des NO_x -Reduktionskatalysators (3) dem Abgas zugegeben wird,
- 25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Reduktionsgaserzeugung folgende Verfahrensschritte umfasst:
- a) Erzeugung eines NO_x -haltigen Gas von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zugeordneten NO_x -Erzeugungsstufe (22) aus der NO_x -Erzeugungsstufe (22) zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas,
 - 30 b) Zwischenspeicherung von NO_x bei der Durchleitung des im Verfahrensschritt a erzeugten NO_x -haltigen Gases durch einen der NO_x -Erzeugungsstufe (22) nachgeschalteten und
 - 35 der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zugeordneten NO_x -Zwischenspeicher (23; 26),

- 5 c) Erzeugung eines H_2 -haltigen Gases von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zugeordneten und dem NO_x -Zwischenspeicher (23; 26) vorgeschalteten H_2 -Erzeugungsstufe (21) aus der H_2 -Erzeugungsstufe (21) zugeführtem Kraftstoff sowie zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas,
- 10 d) Umsetzung von im NO_x -Zwischenspeicher (23; 26) gespeicherten NO_x mit dem im Verfahrensschritt c erzeugten Gas zu NH_3 , so dass ein H_2 -haltiges und NH_3 -haltiges Reduktionsgas erzeugt wird,
- wobei die Verfahrensschritte a und b mit den Verfahrensschritten c und d in zeitlichem Wechsel durchgeführt werden.
13. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine, insbesondere eines Dieselmotors, mit
- 15 - einer Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) und mit
- einer Abgasleitung (2), in welcher ein NO_x -Reduktionskatalysator (3) angeordnet ist,
- wobei ein von der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20)
- 20 erzeugtes Reduktionsgas stromaufwärts des NO_x -Reduktionskatalysators (3) dem Abgas zugegeben wird,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass die Reduktionsgaserzeugung folgende Verfahrensschritte umfasst:
- 25 a) Erzeugung eines NO_x -haltigen Gas von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zugeordneten NO_x -Erzeugungsstufe (22) aus der NO_x -Erzeugungsstufe (22) zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas,
- b) Erzeugung eines H_2 -haltigen und NH_3 -haltigen Reduktions-
- 30 gases von einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zugeordneten und der NO_x -Erzeugungsstufe (22) nachgeschalteten H_2 -Erzeugungsstufe (21) aus der H_2 -Erzeugungsstufe (21) zugeführtem, im Verfahrensschritt a erzeugten NO_x -haltigen Gases, zugeführtem Kraftstoff so-
- 35 wie zugeführter Luft und/oder zugeführtem Abgas.

14. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die NO_x -Umsetzung zu NH_3 in einer der Reduktionsmittel-
erzeugungseinheit (20) zugeordneten, dem NO_x -Zwischenspei-
cher (23) nachgeschalteten katalytischen NH_3 -Erzeugungs-
stufe (24) durchgeführt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Zwischenspeicherung von NO_x und die NO_x -Umsetzung
zu NH_3 mit einem katalytischen NO_x -Zwischenspeicher (26)
durchgeführt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass in einer der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20)
zugeordneten Fraktioniereinheit (27) ein an niedrigsiedenden
Bestandteilen angereicherter Kraftstoff gewonnen wird, der
der Reduktionsmittelerzeugungseinheit (20) zur Reduktions-
gaserzeugung zugeführt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass der NO_x -Reduktionskatalysator (3) in eine Denox-Kataly-
satorstufe (3b) zur Umsetzung von NO_x mit H_2 und in eine
SCR-Katalysatorstufe (3a) zur Umsetzung von NO_x mit NH_3
aufgeteilt, und das Reduktionsgas in Abhängigkeit von seiner
Zusammensetzung eingangsseitig der SCR-Katalysatorstufe (3a)
oder eingangsseitig der Denox-Katalysatorstufe (3b) dem
Abgas zugeführt wird.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Menge und/oder die Zusammensetzung des von der
Reduktionsmittelerzeugungseinheit erzeugten Reduktionsgases
in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Brennkraftmaschine
eingestellt wird.

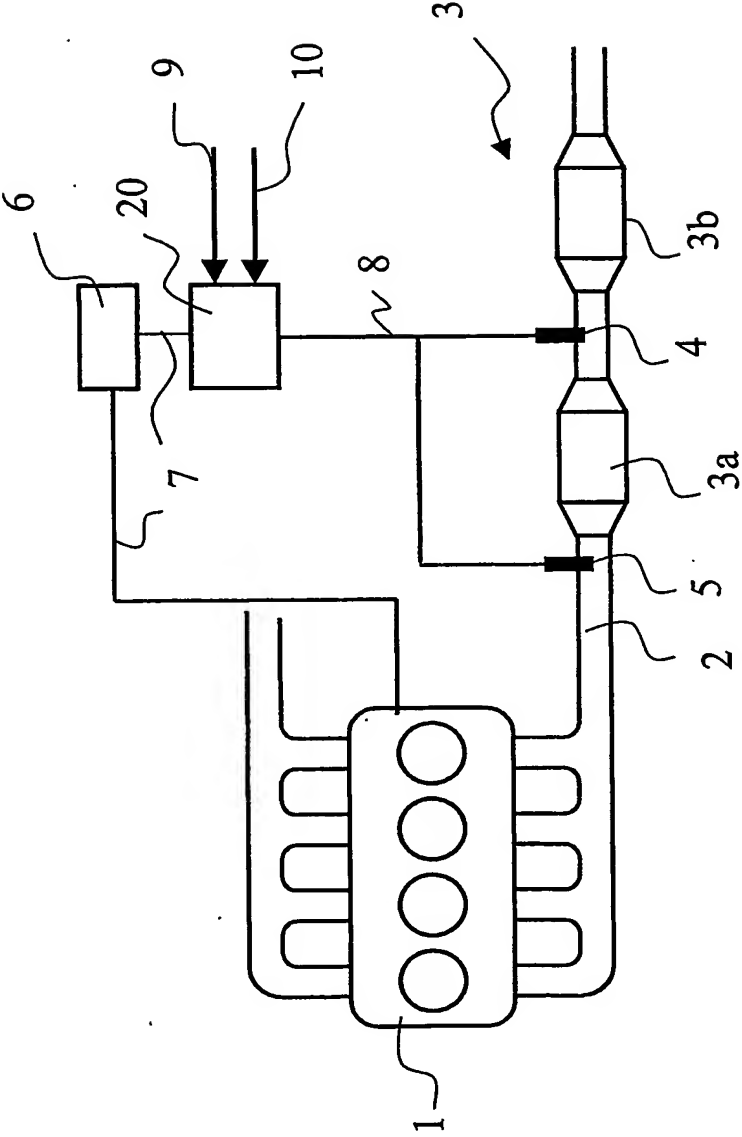


Fig. 1

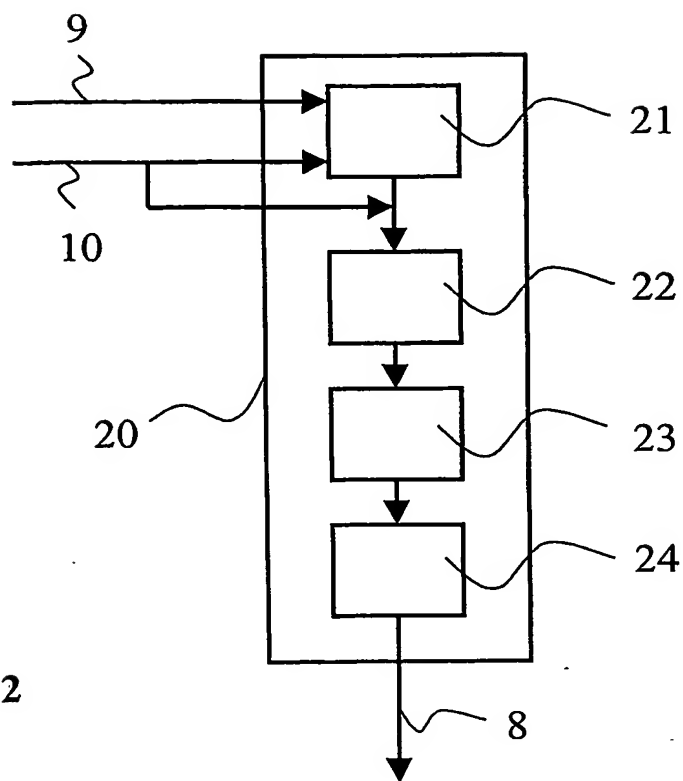


Fig. 2

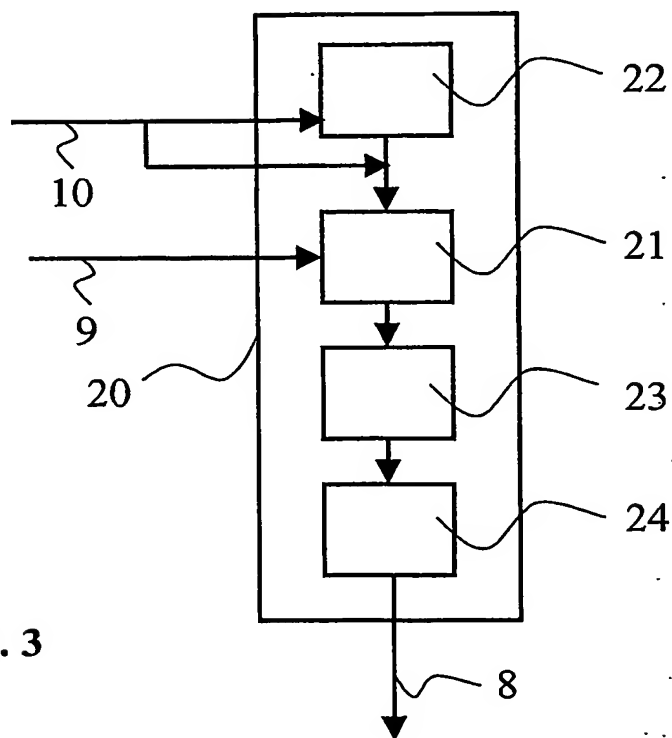
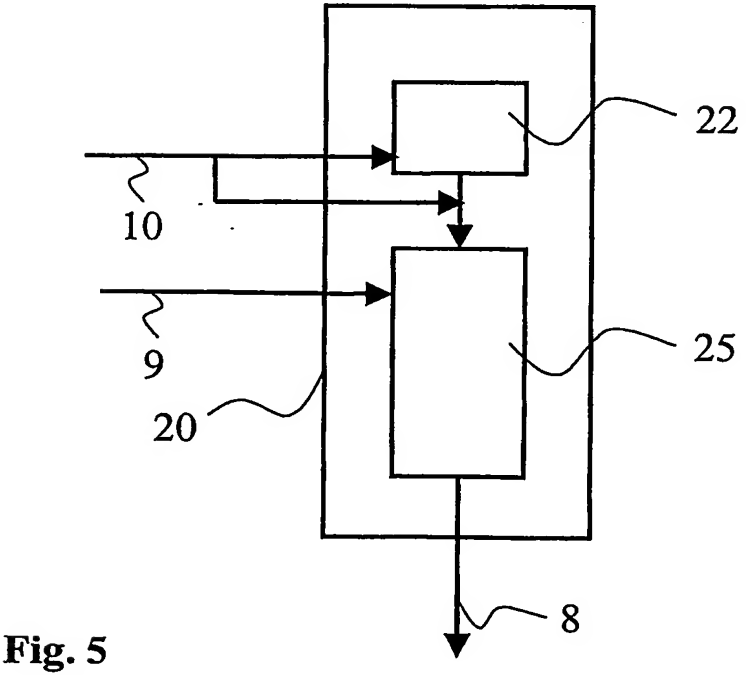
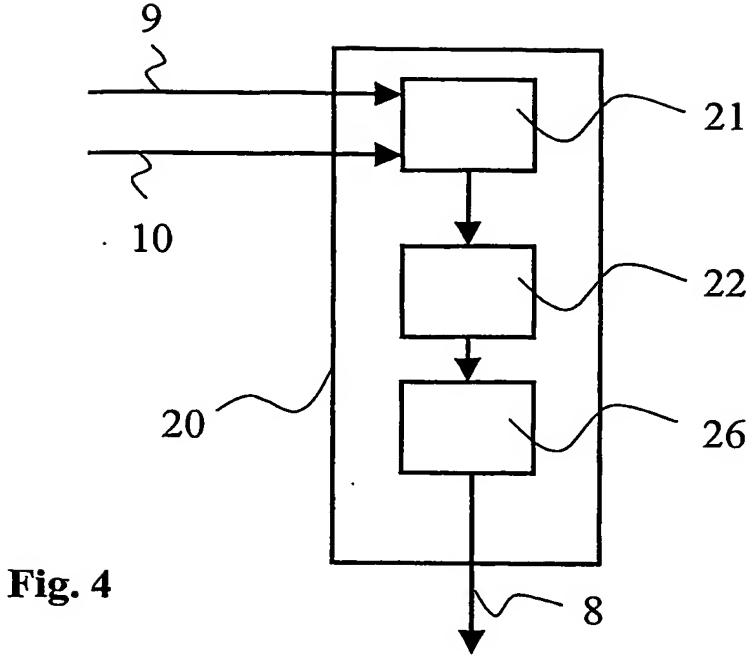


Fig. 3



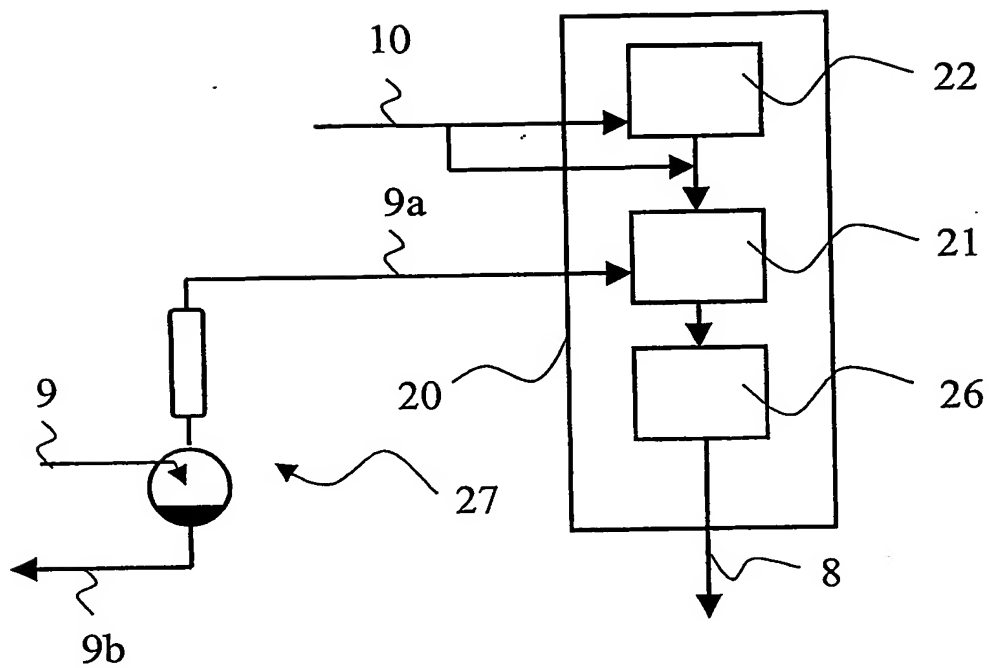


Fig. 6

DaimlerChrysler AG

Boegner
07.08.2002Zusammenfassung

5 1. Brennkraftmaschine mit Reduktionsmittelerzeugungseinheit
und Betriebsverfahren hierfür.

10 2.1. Es wird eine Brennkraftmaschine mit einer Reduktionsmit-
telerzeugungseinheit (20) zur Erzeugung eines H_2 -halti-
gen und/oder eines NH_3 -haltigen Reduktionsgases, welches
stromaufwärts eines NO_x -Reduktionskatalysators (3) in
die Abgasleitung (2) zugebar ist, vorgeschlagen sowie
ein Verfahren zum Betrieb einer derartigen Brennkraftma-
schine.

15 2.2. Erfindungsgemäß weist die Reduktionsmittelerzeugungs-
einheit (20) eine NO_x -Erzeugungsstufe und eine H_2 -Erzeu-
gungsstufe in serieller Anordnung auf; für das Verfahren
ist vorgesehen, dass wenigstens zeitweise von der Reduk-
tionsmittelerzeugungseinheit (20) aus von der NO_x -Erzeu-
gungsstufe erzeugtem NO_x durch chemische Reduktion NH_3
gebildet wird.

20 2.3. Anwendung in Kraftfahrzeugen, insbesondere in Personen-
kraftwagen mit Dieselmotor.

25 3. Fig. 1.

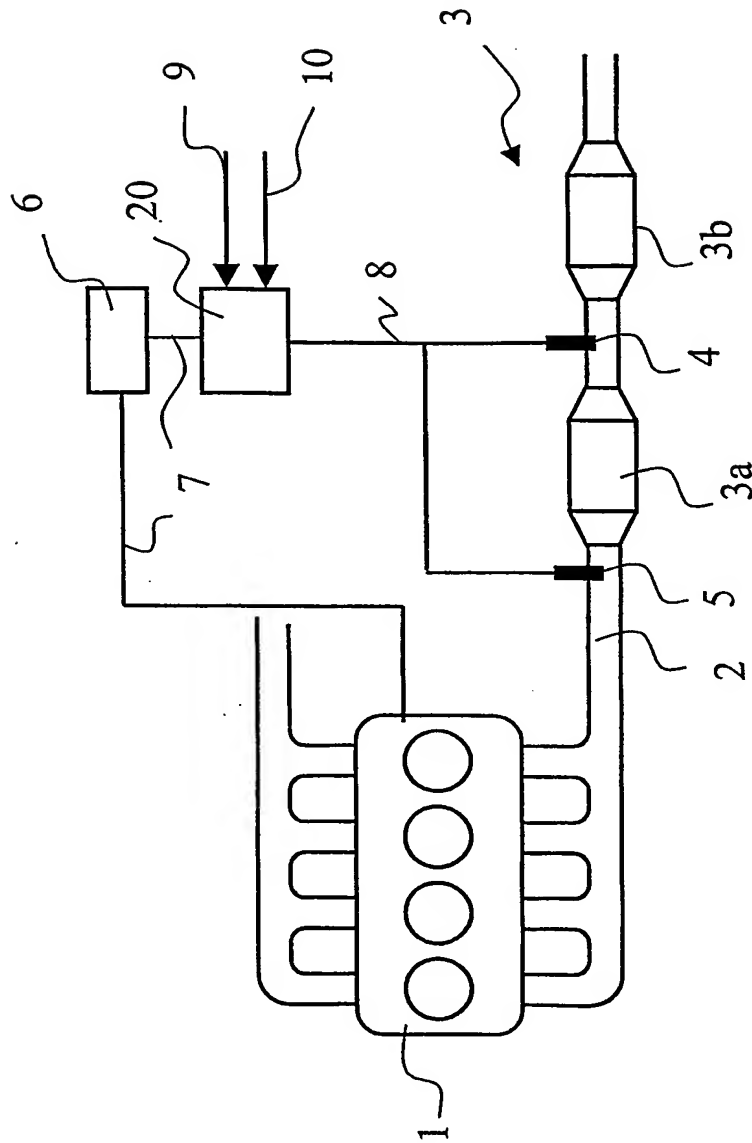


Fig. 1